

# 격자기반 도시유역 분포형 유출모형의 개발

## Development of Grid-Based Distributed Runoff Model in Urban Area

유 희 상\*, 김 문 모\*\*, 안 원 식\*\*\*

Hee Sang Ryu, Mun Mo Kim, Won Sik An

### 요 지

본 연구는 격자기반의 지표면 유출 및 도시 유역 우수관거 유출해석모형으로서 유역을 관거 유입구를 기준으로 다수의 소유역들로 구분하고 각 소유역내 지표면 흐름을 비선형저류방정식으로 표현하여 유출량을 산정하는 방법 및 유역을 일정한 크기의 격자로 분할한 상태에서 각 격자의 유입·유출을 계산함으로써 주어진 시간 간격별로 유역 전체에 대한 물수지를 파악하는 격자 물수지식을 이용하는 방법을 결합하여 도시유역의 지표면 유출량을 산정하기 위한 격자기반의 분포형 지표면 유출해석 모형을 개발하는 것을 연구의 목적으로 하였다. 즉, 본 연구에서 개발한 유출모형은 지표면 유출의 메카니즘을 비선형저류방정식으로 표현한다는 점에서 SWMM의 방법을, 격자기반으로 유출량을 계산·추적한다는 것이다. 또한 도시지역의 침수형태 및 원인을 파악함과 동시에 기존의 도시유출해석모형을 일부 수정 및 보완하여 집중호우발생시의 지표이동류 흐름, 폐합형 우수관거, 하류부의 배수영향 등을 고려한 우수관거 유출모형을 개발하였다. 본 모형을 이용하여 가상 및 실제 유역에 대한 유출모의를 수행함으로써 모형의 적용성을 평가하였다. 본 연구에서 제시하는 격자기반 도시유출해석모형은 대상유역을 일정한 크기의 격자로 구성하고 개개의 격자마다 유출해석을 위한 지형정보와 수문정보를 입력하여 격자별 유출량을 계산·추적함으로써 유역의 임의의 위치에서의 유출량, 유출심의 시간적 변화와 공간적인 분포를 모의할 수 있다. 가상 및 실제 유역에 대한 유출해석을 통하여 본 연구에서 개발한 모형은 이동강우나 국지적인 집중호우 등 시공간적으로 변하는 수문 특성을 반영할 수 있고, 폐합형 우수관망 해석 및 하류부 배수효과를 검토하여 도시유역의 홍수방제관리에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어:** 분포형 유출모형, 도시유출 해석모형, 홍수방제

### 1. 서 론

최근 들어 전 세계적으로 극심한 기후변화와 그에 따른 기상이변으로 국지적 집중호우나 이상호우로 인한 피해가 급증 및 반복되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 물리적 거동에 기초한 강우-유출현상에 관한 정교한 해석이 필요하게 되었고, 유출해석에 있어서 강우량의 시·공간적인 분포와 유출장인 유역사면특성의 공간분포의 중요성이 부각되고 있다. 최근 기상레이더 등에 의하여 점차 강우의 시·공간분포가 획득 가능하도록 되어 가고 있으며, 전산기기의 급속한 발전과 GIS의 구축으로 지형, 지질, 토양과 식생 등의 격자자료가 형성되는 등 분포형 유출모형에 필요한 이산형 입력자료의 구성이 용이하게 되었다. 이와 같이 유출현상의 입력과 발생 장에 관한 정보가 분포형으로 정비되어감에 따라 이들의 정보를 이용한 다양한 수문해석의 결과도 격자화된 정보로의 분석이 요구되고 있다.

### 2. 격자기반 도시유역 지표면 유출해석 모형

\* 정회원 · 수원대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail: [ryuhss@hanmail.net](mailto:ryuhss@hanmail.net)

\*\* 정회원 · 신구대학 토목공학과 교수 · E-mail: [munmo310@shingu.ac.kr](mailto:munmo310@shingu.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · 수원대학교 토목공학과 교수 · E-mail: [wsan@suwon.ac.kr](mailto:wsan@suwon.ac.kr)

본 모형에서는 지표면 유하흐름을 지배하는 유역특성치의 공간적 변화는 격자구조 내에서 정의되며, 특성치들은 하나인 격자 안에서는 균질하다고 가정하였다. 각 격자의 중심점에 할당된 고도 값에 기초하여 흐름이 지표면상에서 유출·추적된다. 지표면 흐름 과정을 나타내기 위해서 지표면 흐름이 하도의 흐름과 같이 중력과 마찰력에 의해 지배된다고 가정하여 운동파 (kinematic wave) 근사법인 비선형 저류방정식을 사용하였다. 본 연구에서 개발한 도시지역 분포형 유출모형의 알고리즘은 다음 표 1과 같다.

**표 1. 도시형 유출 모형의 알고리즘**

1. 대상유역을 일정한 크기의 격자망으로 분할
2. 각 셀의 중심점에 할당된 고도 값에 기초하여 셀별 지형경사 계산
3. 각 셀의 중심점에 할당된 고도 값에 기초하여 셀별 격자의 주 흐름방향 생성
4. 각 셀별로 조도계수, 초기수심, 강우량 등의 수문정보를 입력
5. 유입구 위치 지정 및 유입구 제원, 유량계수 입력
6. 유효우량, 손실량 계산
7. 비선형 저류방정식을 이용한 셀별 유출심, 유출량 계산
8. 주 흐름방향에 따른 인접 격자로의 유출의 전이를 통한 매 시간스텝마다 셀별 유출 추적
9. 지표면 유출량, 유출심 등 임의의 위치에서의 시·공간적 수문량 출력

### 3. 모형의 적용

#### 3.2 실제 유역에 대한 유출해석

본 연구에서 개발된 도시지역 분포형 유출모형을 이용하여 군자 배수구역에서 발생하는 유출량 및 유출심을 예측하고 지표면 유출량의 전과특성을 분석하였다. 모형의 적용 유역인 군자 배수구역은 면적이 약 96.4 ha이며, 중앙천 좌안의 하류에 위치하고 있다. 지표면에서 발생하는 유출량은 하수관거를 통해 하천으로 배출되고 있으나, 본 모형의 적용에서는 하수관거가 설치되어 있지 않다고 가정하고, 발생한 지표면 유출량이 표고차를 따라 유출량이 전과되는 것으로 간주하여 유출모의를 수행하였다.

그림 1은 각각 군자배수구역의 DEM과 유출모의를 위한 20 m 간격의 격자구조를 나타낸 것이며, 그림 2는 군자 배수구역의 토지이용도와 토양의 수문학적 토양형(한건연 등 2005)을 나타낸 것이다.

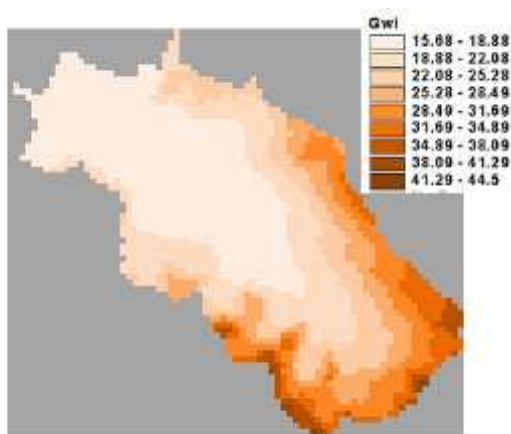


그림 1. 군자지역의 DEM

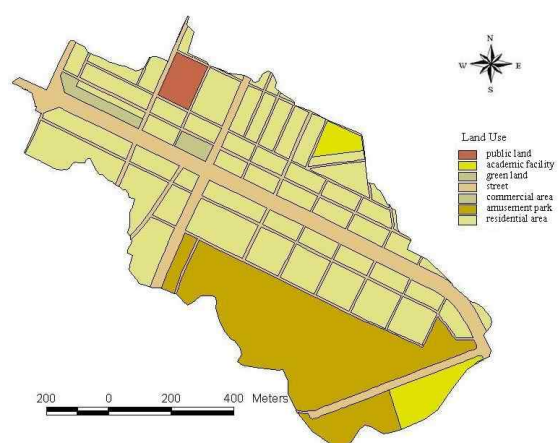
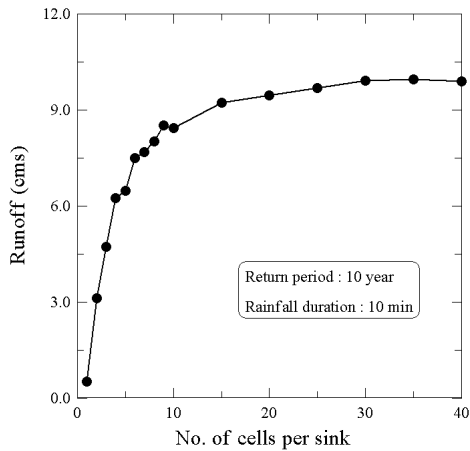
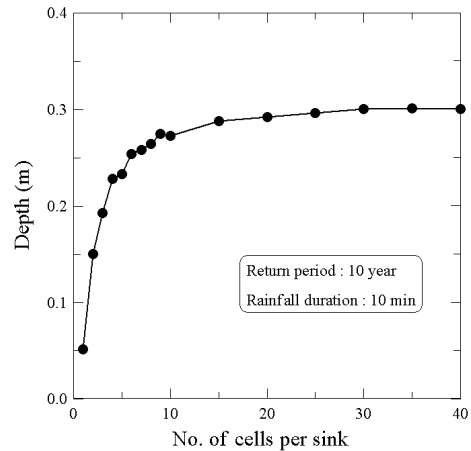


그림 2. 군자지역 토지이용도



(a) peak of runoff



(b) peak of flow depth

그림 3. 우수 배수시설의 설치 개수에 따른 침투유량과 유출심 (Cell No.2813)

그림 3은 빗물받이 유입구와 같은 우수 배수시설의 설치 개수에 따른 셀 번호 2813에서의 침투유량과 유출심을 산정하여 도시한 것이다. No. of cells per sink는 배수시설의 설치밀도를 나타낸 것으로 배수시설 1개가 담당하고 있는 셀의 개수를 나타낸 것이다. 예를 들어 이 값이 10이면, 셀 10개마다 1개의 유입구가 존재하는 것을 의미한다. 이 경우에는 1개의 셀 크기가 20 m × 20 m 이므로, 1개의 유입구가 담당하는 집수면적은 4,000 m<sup>2</sup>가 된다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, 10개를 전후하여 침투유량과 최대유출심이 급변하는 유입구 설치 개수가 존재하는 것을 알 수 있다. 따라서 이와 같은 모의를 통하여 유입구의 적정 설치밀도를 결정할 수 있다. 본 연구의 경우 셀 1개당, 즉 면적 400 m<sup>2</sup>당 1개의 유입구를 설치하면, 발생한 우수유출수의 대부분을 유입구를 통하여 배출시킬 수 있는 것으로 모의되었다.

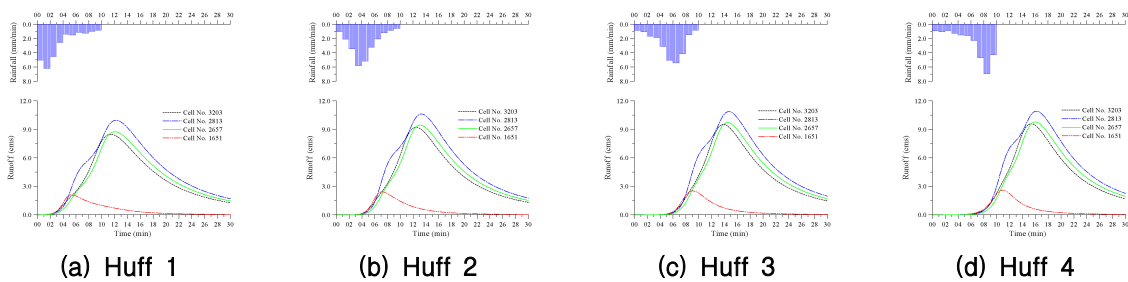


그림 4. Huff 분위에 따른 유출량

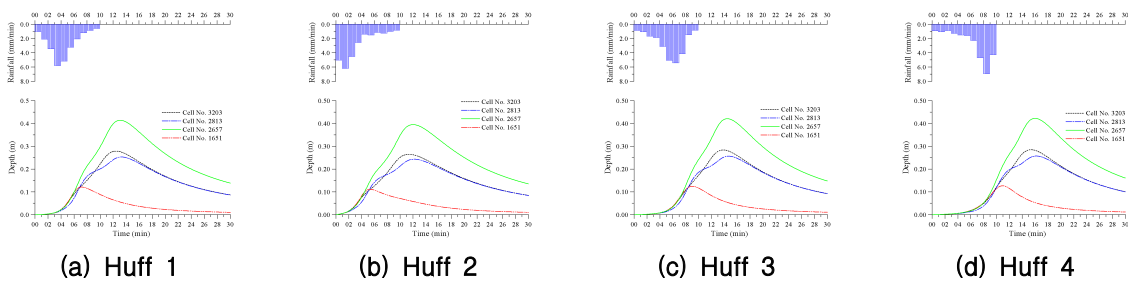


그림 5. Huff 분위에 따른 유출심

그림 4와 그림 5는 서울지역의 재현기간 10년, 지속시간 10분의 설계 강우에 대하여 Huff 분위에 따른 유출량과 유출심의 시간적 분포를 모의하여 나타낸 것이다. 분위별로 침투 발생 시간에만 차이를 보이고 있으나, 수문곡선의 전반적인 형태는 분위별로 큰 차이를 나타내고 있지 않다. Huff 4분위인 경우가 침투유출량과 최대유출심이 다른 분위의 경우보다 다소 큰 것으로 보인다.

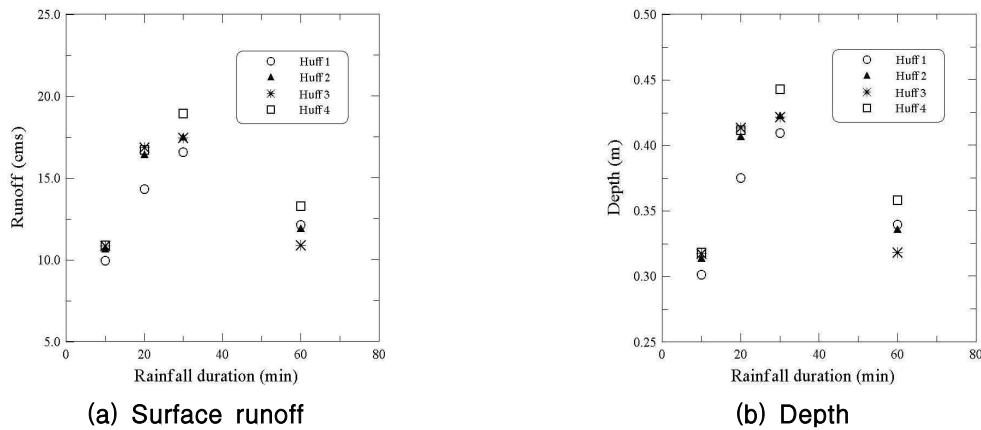


그림 6. 지속시간별, Huff 분위별 침투유출량과 최대유출심 (No.2813)

셀 번호 2813에 대하여 지속시간별(10분, 20분, 30분, 60분), Huff 분위별 침투유출량과 최대유출심을 산정하여 그림 6과 표 3, 표 4에 나타내었다. 지속시간 20분일 때를 제외하고는 Huff 4분위일 때 침투 유출량과 최대 유출심이 가장 큰 것으로 산정되었다. 침투 유출량이 최대일 때의 강우지속시간을 임계지속시간으로 보면, 지속시간이 30분을 전후해서 임계지속시간이 결정될 것으로 보인다.

표 3. 지속시간에 따른 최대유출량 (unit : cms)

지속시간	Huff 1	Huff 2	Huff 3	Huff 4
10분	9.94	10.61	10.85	10.91
20분	14.35	16.37	16.87	16.74
30분	16.60	17.47	17.48	18.95
60분	12.15	11.88	10.90	13.29

표 4. 지속시간에 따른 최대유출심 (unit : m)

지속시간	Huff 1	Huff 2	Huff 3	Huff 4
10분	0.301	0.313	0.317	0.318
20분	0.375	0.406	0.413	0.411
30분	0.409	0.422	0.421	0.442
60분	0.339	0.335	0.318	0.358

#### 4. 결 론

본 연구에서는 도시유역에서 적합한 격자기반의 지표면 유출해석 모형을 개발하고, 가상 유역 및 실제 유역인 군자 배수구역에 시범적으로 모형을 적용하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

이동강우에 대하여 정방향 가상유역의 유출해석을 수행한 결과, 강우의 이동방향과 유출의 방향이 같고 그 이동속도 간에 차이가 작은 경우에는 하류부에 유출의 증폭을 가져올 수 있으나, 강우와 유출

의 속도차이가 크면 지체효과로 인해 유출량이 공간적으로 균등강우의 경우에 비해 유출량이 감소할 수 있음을 확인하였고 모형의 민감도 분석을 통하여 조도계수와 초기침투능이 지표면 유출량 및 유출의 지체를 지배하는 인자임을 확인하였다. 빗물받이 유입구와 같은 우수의 배수시설의 설치 개수에 따른 유출모의를 통하여 침투유출량과 최대유출심이 급변하는 유입구 개수가 존재함을 보였으며, 군자배수구역에서 발생한 우수유출수의 대부분을 유입구를 통하여 배출시킬 수 있는 유입구의 적정 설치밀도를 제시하였다. 또한 서울지역의 재현기간 10년 확률강우에 대하여 지속시간별, Huff 분위별 유출모의를 수행한 결과, Huff 4분위인 경우가 침투유출량과 최대유출심이 가장 크며 지속시간 30분을 전후해서 임계지속시간이 결정될 것으로 분석되었다.

결론적으로, 가상 및 실제 유역에 대한 유출해석을 통하여 본 연구에서 개발한 모형은 이동강우나 국지적인 집중호우 등 시공간적으로 변하는 수문 특성을 반영할 수 있어 도시유역의 홍수방재관리에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 향후 연구로서 관측자료 및 타 모형과의 비교를 통하여 본 연구에서 개발한 유출모형의 검증 및 우수관계해석 모형과의 연계가 가능토록 모형을 확장할 계획에 있다.

## 참 고 문 헌

- 김성준 (1998). “격자기반의 운동과 강우유출모형의 개발.” **한국수자원학회논문집**, 제31권 제3호, pp.303-315.
- 최계운, 이희성, 안상진 (1992). “분포형 모형을 이용한 유역내 이동강우(MOVING STORM)의 유출해석(I) -모형의 개발-.” **한국수자원학회논문집**, 제25권 제1호, pp.101-110.
- 최계운, 이희성, 안상진 (1993). “분포형 모형을 이용한 유역내 이동강우(MOVING STORM)의 유출해석(I) -모형의 적용-.” **한국수자원학회논문집**, 제26권 제1호, pp.81-91.
- 최현상, 한건연 (2004b). “GIS와 불확실도 해석기법을 이용한 분포형 강우-유출 모형의 개발” **한국수자원학회논문집**, 제37권 제4호, pp.329-352.
- 한건연, 이종태, 이창희, 김지성 (2005). “DEM 기반 수치모형에 의한 중랑천 유역 침수해석.” **대한토목학회 2005년도 정기 학술대회 논문집**, pp.2992-2999.
- Abbott, M.B., Bathurst, J.C., Cunge, J.O., O'Connell, P.E., and Rasmussen, J. (1986). “An introduction to the European Hydrological System-System Hydrologique Europeen (SHE).” *J. of Hydrology*. Vol. 87, pp.45-59.
- Arnold, J.G., Allen P.M., Bernhardt, G. (1993). “A comprehensive surface-groundwater flow model.” *J. of Hydrology*. Vol. 142, pp.47-69.
- Beven, K.J. and Kirkby, M.J. (1979). “A physically-based variable contributing area model of basin hydrology.” *Hydro. Sci. Bull.*, Vol. 24, pp.43-49.
- ESRI (1995). Arc/Info Version 7 on-line user's manual, Redlands, CA.
- Hicky, R., Smith, A., and Jankowski, P. (1994). “Slope length calculations from a DEM within Arc/Info GRID.” *Computing, Environment and Urban Systems*. Vol. 18, No. 5, pp.365-380.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. (2001). “Soil and water assessment tool theoretical documentation.” *Agricultural research service*, Texas.
- Zevenbergen, L.W., and Thorne, C.R. (1987). “Quantitative analysis of land surface topography.” *Earth Surface Processes and Landforms*. Vol. 12, pp.12-56.